

Effets des traitements post-récolte et de la torréfaction sur la teneur en ochratoxine A du café : une revue

Noël Durand¹
Daniel Duris¹
Angélique Fontana¹
Olaya Castellanos-Onorio²
Mima Suarez-Quiroz²
Sabine Schorr-Galindo¹

¹ Cirad
UMR 95 Qualisud
TA B-95/16
73, rue Jean-François Breton
34398 Montpellier cedex 5
France
<noel.durand@cirad.fr>
<dduris@orange.fr>
<afontana@univ-montp2.fr>
<galindo@univ-montp2.fr>

² Instituto tecnologico de Veracruz
Av. M.A. de Quevedo 2779
Col formando hogar
C.P. 91860
Veracruz
Mexico
<elyfucsia@hotmail.com>
<mirnasq@itver.edu.mx>

Résumé

L'ochratoxine A (OTA) est une toxine cancérigène produite par certaines moisissures. Elle contamine de nombreux aliments et notamment le café dans lequel elle est retrouvée à toutes les étapes du parcours technologique du champ à la tasse. Cette étude a pour objet de faire le point sur les étapes critiques des procédés de transformation du café, que ce soit durant les traitements post-récolte ou pendant la transformation en produit consommable, en ce qui concerne sa contamination par l'OTA. La qualité et le type de traitements post-récolte ont une influence non négligeable sur le niveau de contamination en OTA des grains verts. Les défauts agronomiques (insectes et attaques fongiques) contribuent également à un niveau élevé d'OTA dans le café vert. Diverses études effectuées sur l'impact de la torréfaction mettent en évidence une dégradation thermique de l'OTA. Toutefois, la contamination initiale des fèves, le procédé utilisé et le degré de torréfaction influencent fortement cette dégradation thermique et donc la concentration résiduelle en OTA dans les grains torréfiés. Finalement, il apparaît que c'est la maîtrise de la contamination en amont par de bonnes pratiques agricoles et par les traitements post-récolte qui est le plus sûr gage de salubrité pour la boisson.

Mots clés : anthracnose ; ochratoxine ; torréfaction ; traitement postrécolte.

Thèmes : méthodes et outils ; productions végétales ; qualité et sécurité des produits ; transformation, commercialisation.

Abstract

Effects of post-harvest and roasting treatments on Ochratoxine A levels in coffee: A review paper

Ochratoxin A (OTA) is a carcinogenic toxin produced by certain moulds. It contaminates numerous foodstuffs, notably coffee, in which it can be found at all stages of the technological process, from field to cup. The purpose of this study was to take stock of the critical stages in coffee processing, be it during post-harvest treatments, or during processing into a consumable product, with regard to OTA contamination. The quality and type of post-harvest processes showed a not insubstantial effect on the degree of OTA contamination in green beans. Agronomic defects (insect and fungus attacks) also contributed to the high level of OTA in green coffee. Various studies undertaken on the impact of roasting on OTA degradation revealed thermal degradation of OTA. However, initial contamination of the beans, the process used and the degree of roasting strongly influenced that degradation, hence the residual OTA concentration in roasted beans. Lastly, it appeared that it is the control of contamination upstream, through good agricultural practices and post-harvest treatments, that is the best way for ensuring a contamination-free beverage.

Key words: anthracnose; coffee; ochratoxin; postharvest treatment; roasting.

Subjects: food quality and security; processing, marketing; tools and methods; vegetal productions.

Pour citer cet article : Durand N, Duris D, Fontana A, Castellanos-Onorio O, Suárez-Quiroz M, Schorr-Galindo S, 2013. Effets des traitements post-récolte et de la torréfaction sur la teneur en ochratoxine A du café : une revue. *Cah Agric* 22 : 195-201. doi : 10.1684/agr.2013.0621

En 2010, la production mondiale de café atteignait 134,5 millions de sacs, soit environ 8,1 millions de tonnes (60 kg/sac) (ICO, 2011a). Le plus gros producteur est le Brésil, suivi par le Viêt Nam et la Colombie. Les caféiers sont en effet des arbustes des régions tropicales du genre *Coffea* de la famille des Rubiacées. Les espèces *Coffea arabica* (la plus anciennement cultivée) et *Coffea canephora* (ou caféier *robusta*) sont celles qui servent à la préparation de la boisson qui est une des plus consommées au monde. La consommation mondiale de café en 2009 a été en effet d'environ 130 millions de sacs, la consommation annuelle par habitant en Europe allant de 1,53 kg en Pologne à 27,40 kg au Luxembourg (5,42 kg en France) (ICO, 2011b).

L'ochratoxine A (OTA) (figure 1) est une mycotoxine produite par certaines moisissures des genres *Aspergillus* et *Penicillium* (Pitt *et al.*, 2000 ; Abrunhosa *et al.*, 2001 ; O'Callaghan *et al.*, 2003). Dans les zones tropicales, l'OTA est principalement produite dans le café par *Aspergillus ochraceus* et *Aspergillus westerdijkiae* (Taniwaki *et al.*, 2003 ; Frisvad *et al.*, 2004 ; Samson *et al.*, 2006 ; Bacha *et al.*, 2009) (figure 2). L'OTA suscite une attention particulière pour ses effets néphrotoxiques, immunotoxiques, tératogènes et cancérogènes (Abarca *et al.*, 1998 ; Pfohl-Leszkowicz et Castegnaro, 1999) et le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé l'OTA comme cancérogène pour l'homme (groupe 2B) (IARC, 1993). L'OTA contamine différents produits alimentaires d'origine végétale et animale comme le café, le cacao, les céréales, les épices, les fruits secs, le raisin, les abats de porc ou de volaille et le lait (Pittet *et al.*, 1996 ; WHO, 1996 ; Blanc *et al.*, 1998 ; Hurst et Martin, 1998 ; Jorgensen, 1998 ; Skaug, 1999 ; Thirumala-Devi *et al.*, 2001 ; Miraglia et Brera, 2002 ; Mounjouenpou *et al.*, 2008 ; Dachoupan *et al.*, 2009). A cause de sa thermostabilité et de sa résistance à l'acidité (Boudra *et al.*, 1995), l'OTA est également présente dans les produits transformés, fermentés, séchés et/ou torréfiés (Chiavaro *et al.*, 2002 ; Miraglia et Brera, 2002). Les céréales, le vin et le café sont les aliments qui contribuent le plus à l'ingestion humaine d'OTA : respectivement pour 50, 13 et 10 % en Europe.

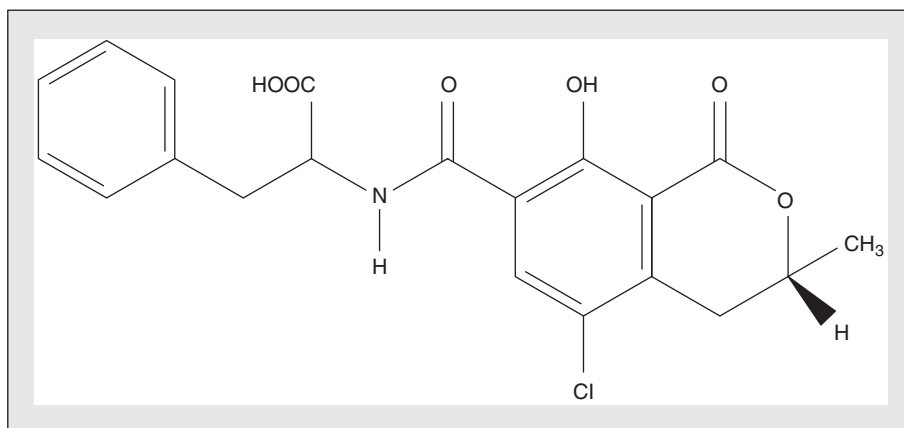


Figure 1. Structure de la molécule d'ochratoxine A (OTA).

Figure 1. Structure of the Ochratoxin A (OTA) molecule.



Figure 2. *Aspergillus westerdijkiae* isolé du café vert.

Figure 2. *Aspergillus westerdijkiae* isolates in green coffee.

La législation européenne a fixé une teneur maximale pour l'OTA dans le café torréfié (5,0 µg/kg) et le café instantané (10,0 µg/kg) (European Commission, 2006), mais il n'existe pas encore de limite pour l'OTA dans le café vert.

L'influence des différents traitements intervenant dans la préparation de la boisson sur la contamination du café par l'OTA a fait l'objet de nombreuses études. La présence d'OTA dans les fèves de café peut être mise en relation avec les conditions de récolte (Paulino de Moreas et Luchese, 2003), et de traitement post-récolte (Bucheli *et al.*, 2000 ; Romani *et al.*, 2000 ; Suárez-Quiroz *et al.*, 2005a ; Suárez-Quiroz *et al.*, 2005b ; Duris *et al.*, 2010), en particulier au cours du traitement par voie sèche (Bucheli et Taniwaki, 2002 ; Urbano *et al.*, 2001), et de stockage et transport (Bucheli *et al.*, 1998) mais également avec les conditions de torréfaction (Suárez-Quiroz *et al.*, 2005b ; Ferraz *et al.*, 2010).

Après avoir présenté le parcours technologique du café du champ au grain torréfié, l'objectif de cette revue est de faire la synthèse des connaissances sur l'incidence des traitements post-récolte et de la torréfaction sur la teneur en OTA du café.

Le café, du champ à la tasse

Après la récolte des cerises mûres de café, l'obtention du « café vert marchand » peut se faire selon deux procédés qualifiés de « voie humide » et de « voie sèche » (figure 3).

Plus fréquemment utilisée pour les grains de robusta, la voie sèche aboutit au café « coque ». Les cerises sont mises à sécher au soleil en couches minces (3 à 4 cm d'épaisseur) ; elles atteignent ainsi, en une vingtaine de jours, 12 % de teneur en eau. L'ensemble des enveloppes se déshydrate et forme la coque. Les cerises sont alors décortiquées pour donner le « café vert marchand nature ».

La plupart des grains d'arabica subissent le traitement par voie humide. Elle donne lieu au café « parche ». Les cerises sont déulpées de façon mécanique en retirant la peau et une partie du mucilage. Ce qui reste de ce

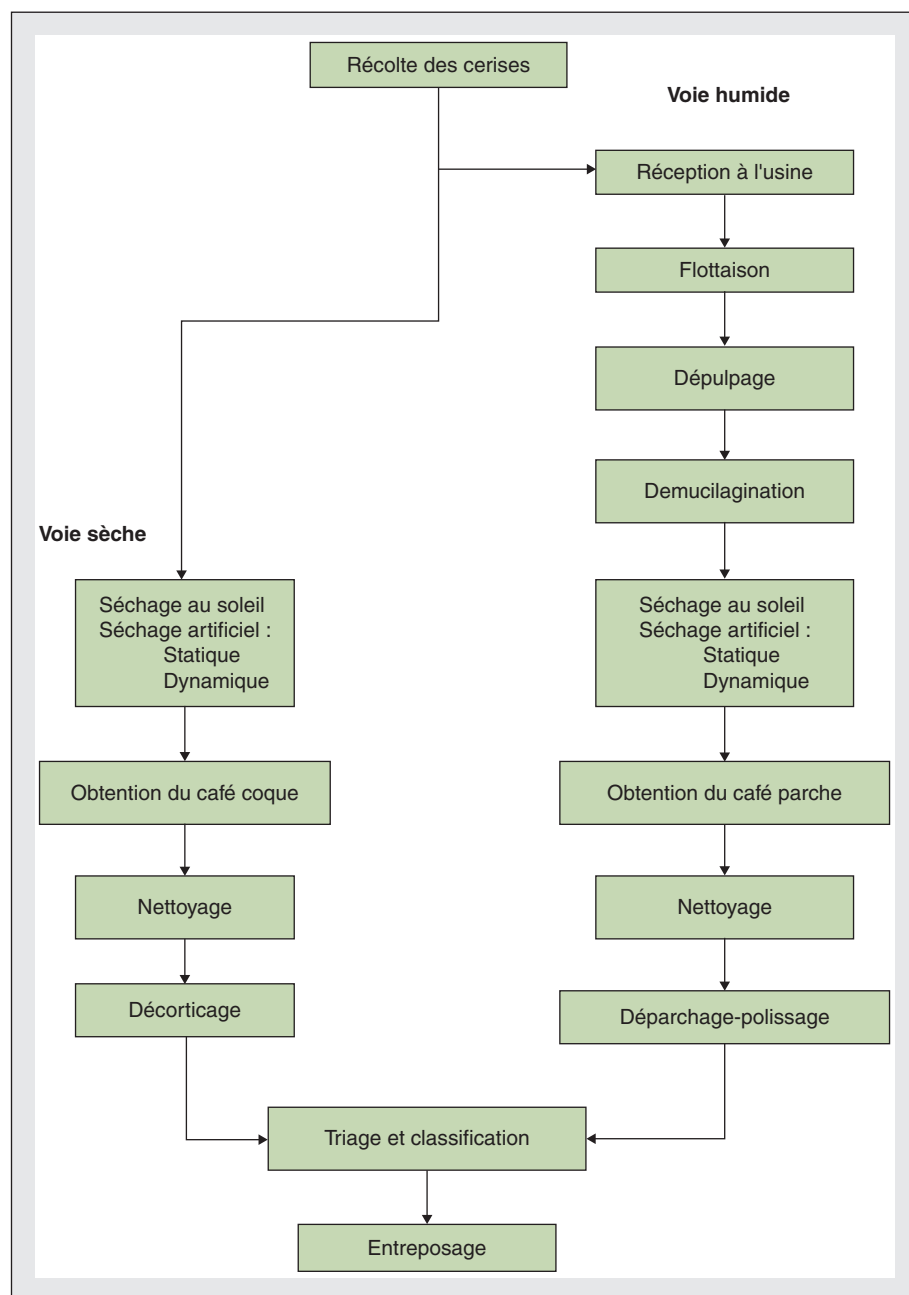


Figure 3. Traitements post-récolte du café vert (González-Rios, 2004).

Figure 3. Green coffee post-harvest treatments (González-Rios, 2004).

dernier subit une fermentation par voie microbienne ou bien est retiré mécaniquement. Le grain subit ensuite un lavage dans des bacs ou canaux, évitant ainsi la prolifération des micro-organismes. C'est alors que les grains sont séchés au soleil ou de façon artificielle afin d'atteindre 12 % d'humidité. Pour finir, le grain est déparché puis stocké dans des sacs de

jute. Le produit obtenu à ce stade est appelé « café vert marchand lavé ». Le « café vert marchand » est ensuite trié et calibré pour son exportation, puis torréfié dans les pays consommateurs. La torréfaction consiste à amener par chauffage le grain vert à un degré de grillage souhaité qui permettra de donner ses principales qualités au café : arôme, couleur et corps

(réaction de Maillard). L'opération est traditionnellement réalisée dans un cylindre horizontal chauffé à 220 °C, muni de pales métalliques qui vont agiter les grains pendant toute la durée de la torréfaction. Les torréfacteurs à lit fluidisé ou projeté sont également couramment utilisés pour la torréfaction à grande échelle (Eggers et Pietsch, 2001).

La torréfaction se déroule pendant 5 à 15 minutes en général à des températures allant de 200 à 250 °C maximum. Le degré de torréfaction est déterminé essentiellement par la couleur, mais aussi la perte de poids ou l'augmentation de volume des grains (Strezov et Evans, 2005). En fonction du type de café désiré, la température finale recommandée des grains sera par exemple de 226, 232 et 238 °C pour, respectivement, une torréfaction légère (blonde ou *New England*), moyenne (ambrée ou *American*) et poussée (brune ou *French*) (Sivetz, 1991). La torréfaction est arrêtée au moment voulu par un refroidissement rapide.

Avant de préparer la boisson, les grains de café torréfiés doivent être moulus. La granulométrie de la mouture doit être adaptée à la méthode utilisée pour la confection du café : une mouture fine pour un contact rapide avec l'eau (percolation) et plus grossière pour un contact prolongé (décoction, infusion ou lixiviation).

Contamination du café par l'ochratoxine A

Influence des traitements post-récolte

Au moment de la récolte, les cerises ne sont pas ou peu contaminées par l'OTA (Bucheli *et al.*, 2000 ; Taniwaki *et al.*, 2003). Cela est probablement dû au fait que les cerises à l'état humide ne sont pas sujettes à une prolifération des moisissures ochratoxinogènes. En effet, les cerises sont à ce stade protégées de la contamination par les souches d'*Aspergillus* par la flore microbienne naturelle du café. Cette flore, mieux adaptée à de forts taux d'humidité, est constituée de bactéries, levures et

souches fongiques appartenant essentiellement aux genres *Penicillium*, *Mucor*, *Cladosporium* et *Aspergillus* (Suárez-Quiroz *et al.*, 2004b).

Lors du traitement des cerises par voie humide, le dépulpage limite la croissance des moisissures car celui-ci élimine un substrat de choix pour leur développement. Par la suite, le procédé mécanique d'élimination de la couche externe potentiellement riche en toxine réduit la contamination en OTA. En revanche, le procédé fermentaire, plus humide et plus long, peut favoriser le développement des moisissures et ainsi la contamination par l'OTA. Le déparchage élimine lui aussi une partie de l'OTA par la perte d'une nouvelle couche externe (Suárez-Quiroz *et al.*, 2005a).

La durée et les conditions du procédé de traitement par voie sèche sont compatibles avec le développement de la flore fongique, entraînant une

production importante d'OTA. Durant toute l'étape de séchage les conditions sont en effet adaptées au développement des moisissures toxino-gènes : température, humidité et substrat riche (pulpe) (Le Bars, 1988 ; Suárez-Quiroz *et al.*, 2004a). Par la suite, le décorticage entraîne cependant l'élimination d'une partie de l'OTA par la perte de la couche externe des grains (*figure 4*).

L'étude des souches potentiellement productrices d'OTA à différentes étapes des traitements post-récolte montre une homogénéité des souches isolées. *A. ochraceus*, *A. westerdijkiae* et *Aspergillus niger* sont les souches prédominantes quel que soit le type de traitement post-récolte utilisé et plus particulièrement sur les parches et cerises sèches (Suárez-Quiroz *et al.*, 2004b).

Il faut cependant noter que ce qui vient d'être décrit n'est valable que



Figure 4. Développement de la flore fongique durant le séchage du café coque.

Figure 4. Development of fungal flora during drying of "hull coffee".

dans la mesure où toutes les protections naturelles (parches, coques) sont intactes. Toute perforation de ces protections par des insectes ou des attaques fongiques avant la récolte est susceptible de permettre la pénétration des moisissures toxigènes dans la fève et par conséquent la production d'OTA au sein même du grain.

Influence des défauts du café

Une étude récente du café kenyan (Duris *et al.*, 2010) a permis d'identifier six types de défauts, d'origine agronomique ou dus à une polyembryonie ou encore à un manque de soins au cours des traitements post-récolte. Les défauts d'origine agronomique, grains endommagés par les insectes et fèves attaquées par *Colletotrichum kabawae*, moisissure responsable de l'antracnose des baies, sont les plus fréquents, avec une forte prédominance de fèves atteintes d'antracnose. Ces fèves, qui se caractérisent par la présence de taches brunâtres à leur surface, proviennent des cerises attaquées tardivement par l'antracnose. En effet, au-delà de la 26^e ou 27^e semaine après la floraison (soit environ 1,5 mois avant la récolte), les traitements fongicides sont suspendus car la maladie n'entraîne plus de pertes de récolte mais elle endommage extérieurement la cerise. Les symptômes d'antracnose sur les cerises indiquent que l'intégrité du fruit n'a pas pu être préservée, facilitant ainsi l'installation de champignons saprophytes. La pulvérisation de fongicides de contact, à raison d'une application mensuelle jusqu'au sixième ou septième mois après la floraison, permet un bon contrôle de la maladie (Bieysse *et al.*, 2002).

Dans les conditions de l'étude, les fèves saines comptent respectivement pour 75,3 et 64,9 % de la masse totale des fèves de café parche et de café coque et la contamination par l'OTA des fèves saines reste faible (0,2 µg/kg pour le café parche et 0,4 µg/kg pour le café coque) alors qu'elle atteint respectivement 8,8 et 10,3 µg/kg lorsque les grains présentent des défauts. Les fèves défectueuses contribuent ainsi à plus de 95 % à la contamination d'un lot de café, quelles que soient les méthodes utilisées pour le traitement post-récolte. Les fèves

présentant des défauts d'origine technologique sont faiblement contaminées alors que les fèves attaquées par l'antracnose apparaissent comme la contribution majeure à la contamination par l'OTA du café.

La comparaison des teneurs en OTA des fèves saines et endommagées par l'antracnose montre que ces dernières sont toujours statistiquement plus contaminées : respectivement 1,2 et 18,0 µg/kg (quels que soient la méthode de traitement post-récolte, le système de production ou la zone de culture). Parmi les grains touchés par l'antracnose, ceux de café coque sont significativement plus contaminés que ceux du café parche (respectivement 29,7 et 10,6 µg OTA/kg). Cette différence peut s'expliquer par le fait que les fèves les plus contaminées proviennent de cerises traitées par voie sèche (café coque) (Pérez de Obanos *et al.*, 2005) et montre ainsi l'influence du traitement post-récolte (Bucheli *et al.*, 2000 ; Urbano *et al.*, 2001 ; Paulino de Moreas et Luchese, 2003).

Il faut toutefois nuancer cette analyse dans la mesure où les cerises les plus endommagées étant transformées en café coque, il est normal de retrouver une contamination plus forte dans ce type de café puisque les grains attaqués sont généralement plus contaminés que les grains sains.

Lorsque l'utilisation d'intrants chimiques phytosanitaires est très faible, voire inexistante, ce qui est le cas chez les petits producteurs, la protection des cerises contre l'antracnose n'est pas assurée. Dans ce cas, les teneurs en OTA des fèves endommagées par l'antracnose (29,3 µg/kg) et celles des fèves saines (1,2 µg/kg) sont significativement différentes, ce qui n'est pas le cas lorsque des traitements fongicides sont réalisés (4,3 µg/kg contre 1,2 µg/kg). Il semblerait que les fongicides utilisés contre *C. kabawae* aient une action fongistatique vis-à-vis des moisissures ochratoxinogènes.

L'élimination du défaut participant le plus à la contamination moyenne des lots, en l'occurrence l'antracnose des baies, ramènerait leurs teneurs en OTA à 1,0 µg/kg pour le café parche et 6,4 µg/kg pour le café coque contre 9,2 et 12,0 µg/kg (Duris *et al.*, 2010). Il semble donc que, dans ce cas, une bonne protection phytosanitaire, qui diminuerait l'apparition de

défauts, serait favorable à l'obtention de café de meilleure qualité en termes de sûreté alimentaire (Bucheli *et al.*, 2000).

Influence de la torréfaction

C'est depuis 1974 qu'est rapportée la présence d'OTA dans le café vert (Levi *et al.*, 1974) dans des concentrations allant de 0,2 et 62 µg/kg (Heilmann *et al.*, 1999 ; Romani *et al.*, 2000 ; Gopinandhan *et al.*, 2008).

Depuis que Tsubouchi *et al.* (1987) ont montré la persistance de l'OTA dans le café torréfié et le café boisson, de nombreuses études ont confirmé la présence de la mycotoxine dans le café vert, torréfié (jusqu'à 20 µg/kg), instantané et dans la tasse (Studer-Rohr *et al.*, 1995 ; Burdaspal et Legarda, 1998 ; Lombaert *et al.*, 2002 ; Taniwaki *et al.*, 2003 ; Pérez de Obanos *et al.*, 2005 ; Mounjouenpou *et al.*, 2007).

L'OTA est stable aux températures habituelles de cuisson et n'est pas dégradée dans le blé à plus de 20 % après un traitement de 160 minutes à 100 °C en chaleur sèche ou 32 minutes à 150 °C en chaleur humide (Boudra *et al.*, 1995). Toutefois, les températures élevées utilisées pour la torréfaction du café engendrent une destruction supérieure de la toxine.

Auparavant, il était admis que l'OTA était détruite durant la torréfaction. Toutefois, de nombreuses études sur l'impact de la torréfaction ont montré des niveaux de réduction allant de 0-12 à 90-100 % (Amézqueta *et al.*, 2009).

Les données concernant la dégradation de l'OTA sont donc très disparates, suite à des différences dans les techniques analytiques (Mounjouenpou *et al.*, 2007) ou les conditions de torréfaction. Les modes de contamination des grains verts diffèrent dans les différentes études : de manière naturelle ou artificielle, en inoculant des souches toxigènes ou en ajoutant de l'OTA. Il en résulte des niveaux de contamination souvent éloignés des conditions réelles ainsi que des problèmes d'hétérogénéité dans la distribution de la toxine. Les essais sont également parfois réalisés dans des conditions expérimentales éloignées des pratiques industrielles (van der Stegen *et al.*, 2001 ; Suárez-Quiroz *et al.*, 2005b).

Les raisons qui sont avancées pour expliquer la réduction de l'OTA durant la torréfaction sont une dégradation thermique (probablement liée à la teneur en eau des fèves) et une décontamination liée à l'élimination de l'enveloppe (Blanc *et al.*, 1998). À ces hypothèses, s'ajoute la possibilité de transformation de l'OTA en d'autres diastéréoisomères ou de réactions avec les substrats (van der Stegen *et al.*, 2001 ; Suárez-Quiroz *et al.*, 2005b ; Cramer *et al.*, 2008).

Les études concernant les cinétiques de dégradation de la toxine pendant la torréfaction ou comparant différentes techniques sont encore rares (Suárez-Quiroz *et al.*, 2005b ; Ferraz *et al.*, 2010 ; Castellanos-Onorio *et al.*, 2011). Les résultats de ces travaux mettent en évidence des réactions de dégradation suivant une cinétique d'ordre 1. Il apparaît une différence de comportement cinétique en fonction de la technologie utilisée. La dégradation de l'OTA a lieu en deux phases dans un torréfacteur cylindre (Suárez-Quiroz *et al.*, 2005b ; Castellanos-Onorio *et al.*, 2011) alors qu'elle se déroule en une seule phase dans les torréfacteurs à lit fluidisé ou projeté

(Ferraz *et al.*, 2010 ; Castellanos-Onorio *et al.*, 2011). En ce qui concerne l'efficacité comparée des deux types de procédés, le torréfacteur cylindre est plus performant au final pour la réduction de l'OTA que le lit fluidisé (figure 5). En effet, même si la vitesse de dégradation est plus élevée dans le dernier cas, le temps de traitement est également beaucoup plus court (au maximum 15 minutes dans le cylindre contre quatre minutes dans le lit fluidisé). La diffusion thermique est donc insuffisante pour obtenir un niveau de réduction convenable dans tout le grain (Castellanos-Onorio *et al.*, 2011). La tendance actuelle à diminuer le degré de torréfaction du café afin d'en préserver les propriétés antioxydantes est donc en contradiction avec une détoxification efficace par rapport à l'OTA.

Conclusion

La contamination du café par l'OTA peut intervenir dès le champ par des moisissures toxigènes présentes sur la cerise. Elle peut également avoir

lieu au cours des traitements post-récolte ou même au cours du stockage ou du transport du café (Bucheli et Taniwaki, 2002 ; Taniwaki *et al.*, 2003 ; Pardo *et al.*, 2004 ; Suárez-Quiroz *et al.*, 2005a) lorsque de bonnes conditions sanitaires ne sont pas respectées.

Le café traité par voie sèche a plus de risque d'être contaminé par l'OTA que le café traité par voie humide. La principale raison pourrait être l'élimination, lors du traitement par voie humide, d'une grande partie de la pulpe dont les constituants forment un excellent substrat pour le développement des moisissures.

La contamination pré-récolte est fortement liée à la détérioration des protections naturelles du café (parches, coques) par les insectes ou attaques fongiques. Dans ce cas, un traitement phytosanitaire rigoureux permet de limiter la présence d'OTA dans les grains verts (Duris *et al.*, 2010).

Les procédés de transformation du café vert en café torréfié peuvent conduire à une réduction conséquente de la teneur en OTA dans le grain torréfié mais leur efficacité dépend fortement de la teneur initiale du grain vert et des méthodes utilisées (Castellanos-Onorio *et al.*, 2011).

La prévention de la contamination, par l'utilisation de bonnes pratiques agricoles et d'hygiène (FAO, 2006), apparaît donc comme un des moyens les plus sûrs pour limiter la présence d'OTA dans une boisson mondialement consommée. ■

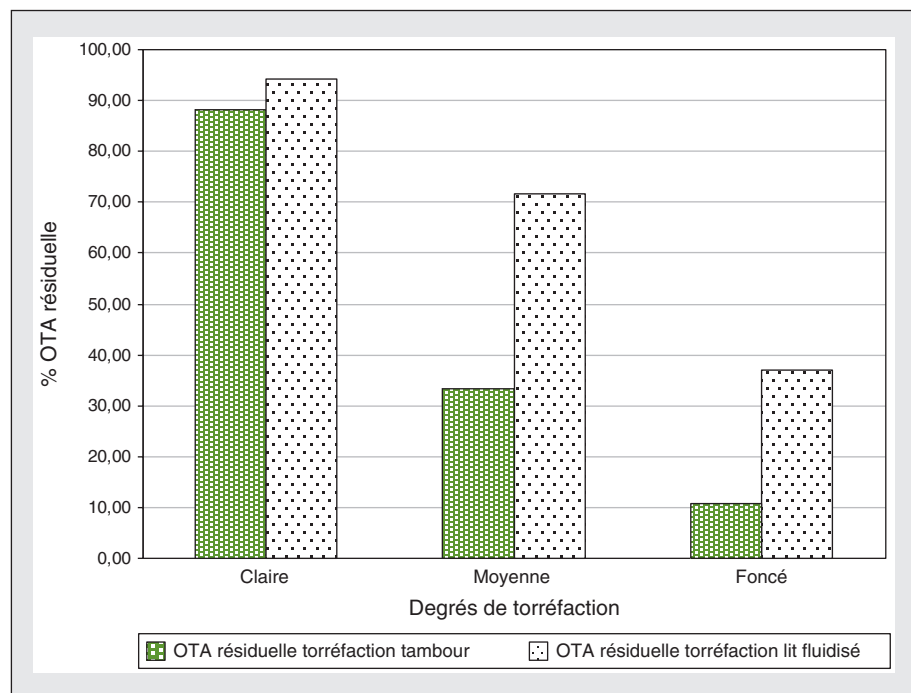


Figure 5. Influence du degré de torréfaction sur la réduction en ochratoxine A (OTA) du café vert en fonction du type de torréfacteur utilisé (Castellanos-Onorio *et al.*, 2011).

Figure 5. Influence of the degree of roasting on green coffee OTA reduction according to the type of roasting used (Castellanos-Onorio *et al.*, 2011).

Références

- Abarca ML, Bragulat MR, Castella G, Cabanes FJ, 1998. Ochratoxin A production by strains of *Aspergillus niger* var. *niger*. *Applied and Environmental Microbiology* 60 : 2650-2.
- Abrunhosa L, Paterson RRM, Kozakiewicz Z, Lima N, Venancio A, 2001. Mycotoxin production from fungi isolated from grapes. *Letters in Applied Microbiology* 32 : 240-2.
- Amézqueta S, Gonzalez-Penas E, Murillo-Arbizu M, Lopez de Cerain A, 2009. Ochratoxin A decontamination: a review. *Food Control* 20 : 326-33.
- Bacha N, Atoui A, Mathieu F, Liboz T, Lebrihi A, 2009. *Aspergillus westerdijkiae* polyketide synthase "aoks1" is involved in the biosynthesis of ochratoxin A. *Fungal Genetics and Biology* 46 : 77-84.
- Blanc M, Pittet R, Munoz-Box R, Viani R, 1998. Behavior of ochratoxin A during green coffee roasting and soluble coffee manufacture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 : 673-5.

- Boudra H, Le Bars P, Le Bars J, 1995. Thermostability of ochratoxin A in wheat under two moisture conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 61 : 1156-9.
- Bucheli P, Taniwaki MH, 2002. Research on the origin and the impact of postharvest handling and manufacturing on the presence of ochratoxin A in coffee. *Food Additives & Contaminants* 19 : 655-65.
- Bucheli P, Kanchanomai C, Meyer I, Pittet A, 2000. Development of ochratoxin A during Robusta (*Coffea canephora*) coffee cherry drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 : 1358-62.
- Bucheli P, Meyer I, Pittet A, Vuataz G, Viani R, 1998. Industrial storage of Robusta coffee under tropical conditions and its impact on raw material quality and ochratoxin A content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 : 4507-11.
- Burdaspal PA, Legarda TM, 1998. Ochratoxin A in roasted and soluble coffee marketed in Spain. *Alimentaria* 296 : 31-5.
- Bieysse D, Bella Mangua Kengue J, Mouen Bedimo JA, Ndeumeny JP, Roussel V, Fabre JV, *et al.*, 2002. L'antracnose des baies. Une menace potentielle pour la culture mondiale de l'arabica. In : *Recherche et caféiculture*. Montpellier (France) : Cirad-CP.
- Castellanos-Onorio O, Gonzalez-Rios O, Guyot B, Fontana TA, Guiraud JP, Schorr-Galindo S, *et al.*, 2011. Effect of two different roasting techniques on the Ochratoxin A (OTA) reduction in coffee beans (*Coffea arabica*). *Food Control* 22 : 1184-8.
- Chiavaro E, Lepiani A, Colla F, Bettoni P, Pari E, Spotti E, 2002. Ochratoxin A determination in ham by immunoaffinity clean-up and quick fluorimetric method. *Food Additives & Contaminants* 19 : 575-81.
- Cramer B, Königs M, Humpf H, 2008. Identification and *in vitro* cytotoxicity of ochratoxin A degradation products formed during coffee roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 : 5673-81.
- Dachoupakan C, Ratomahenina R, Martinez V, Guiraud JP, Baccou JC, Schoor-Galindo S, 2009. Study of phenotypic and genotypic biodiversity of potentially ochratoxigenic black aspergilly isolated from grapes. *International Journal of Food Microbiology* 13 : 14-23.
- Duris D, Mburu JK, Durand N, Clarke R, John M, Guyot B, 2010. Ochratoxin A contamination of coffee batches from Kenya in relation to cultivation methods and post-harvest processing treatments. *Food Additives & Contaminants A* 27 : 836-41.
- Eggers R, Pietsch A, 2001. Technology I: roasting. In : Clarke RJ, Vitzthum OG, eds. *Coffee – Recent developments*. London (England) : Blackwell Science.
- European Commission (EC), 2006. Regulation (EC) 1831/2006 of 19/12/2006. *Official Journal of the European Communities* L 364 : 5-24.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2006. *Reducing ochratoxin A in coffee*. http://www.coffee-ota.org/proj_background.asp
- Ferraz MBM, Farah A, Iamanaka BT, *et al.*, 2010. Kinetics of ochratoxin A destruction during coffee roasting. *Food Control* 21 : 872-7.
- Frisvad JC, Frak JM, Houbraken JAMP, Kuipers AFA, Samson RA, 2004. New ochratoxin A producing species of *Aspergillus* section *Circumdati*. *Studies in Mycology* 50 : 23-43.
- González-Rios O, 2004. *Impact des technologies de traitements post-récolte sur la qualité aromatique et sensorielle du café*. Thèse de doctorat (Montpellier, France).
- Gopinandhan TN, Kannan GS, Panneerselvam P, Velmourougane K, Raghuramulu Y, Jayarama J, 2008. Survey on ochratoxin A in Indian green coffee destined for export. *Food Additives & Contaminants* 1 : 51-7.
- Heilmann W, Rehfeldt AG, Rotzoll F, 1999. Behaviour and reduction of ochratoxin A in green coffee beans in response to various processing methods. *European Food Research and Technology* 209 : 297-300.
- Hurst MJ, Martin RA, 1998. High-performance liquid chromatography determination of ochratoxin A in artificially contaminated cocoa beans using automated clean-up. *Journal of Chromatography A* 810 : 89-94.
- IARC, 1993. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *International Agency for Research on Cancer* 56 : 489-521.
- International Coffee Organization (ICO), 2011a. <http://www.ico.org/prices/po.htm>
- International Coffee Organization (ICO), 2011b. <http://dev.ico.org/documents/cmr-0111-f.pdf>
- Jorgensen K, 1998. Survey of pork, poultry, coffee, beer and pulses for ochratoxin A. *Food Additives & Contaminants* 15 : 550-4.
- Le Bars J, 1988. Toxinogénèse en fonction des conditions écologiques du système grains/micro-organismes. In : Multon JL, ed. *Conservation et stockage des grains et graines, et produits dérivés*. Paris (France) : Tech & Doc Lavoisier.
- Levi CP, Trenk HL, Mohr HK, 1974. Study of the occurrence of ochratoxin A in green coffee beans. *Journal - Association of Official Analytical Chemists* 57 : 866-70.
- Lombaert GA, Pellaers P, Chettiar M, Lavalee D, Scott PM, Lau BPY, 2002. Survey of Canadian retail coffee for ochratoxin A. *Food Additives & Contaminants* 19 : 869-77.
- Miraglia M, Brera C, 2002. *Assessment of dietary intake of ochratoxin A by the population of EU member states*. Reports on tasks for scientific cooperation, task 3.2.7. Rome : SCOOP Directorate-General Health and Consumer Protection.
- Mounjouenpou P, Durand N, Guyot B, Guiraud JP, 2007. Effect of operating conditions on ochratoxin A extraction from roasted coffee. *Food Additives & Contaminants* 24 : 730-4.
- Mounjouenpou P, Gueule D, Guyot B, Tondje PR, Fontana-Tachon A, Guiraud JP, 2008. Filamentous fungi producing ochratoxin A during cocoa processing in Cameroon. *International Journal of Food Microbiology* 121 : 234-41.
- O'Callaghan J, Caddick MX, Dobson DW, 2003. A polyketide synthase gene required for ochratoxin A biosynthesis in *Aspergillus ochraceus*. *Microbiology* 149 : 3485-91.
- Pardo E, Marin S, Ramos A, Sanchis V, 2004. Occurrence of ochratoxigenic fungi and ochratoxin A in green coffee from different origins. *Food Science and Technology* 10 : 45-9.
- Paulino de Moreas MH, Luchese RH, 2003. Ochratoxin A on green coffee: influence of harvest and drying processing procedures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 : 5824-8.
- Pérez de Obanos A, González-Peñas E, López de Cerain A, 2005. Influence of roasting and brew preparation on the ochratoxin A content in coffee infusion. *Food Additives & Contaminants* 22 : 463-471.
- Pfohl-Leszkowicz A, Castegnaro M, 1999. L'ochratoxine A. In : Pfohl-Leszkowicz A, ed. *Les mycotoxines dans l'alimentation : évolution et gestion des risques*. Paris (France) : Tech & Doc Lavoisier.
- Pitt JI, Basilico JC, Abarca ML, Lopez C, 2000. Mycotoxins and toxinogenic fungi. *Medical Mycology* 38 : 41-6.
- Pittet A, Tonare D, Huggett A, Viani R, 1996. Liquid chromatographic determination of ochratoxin A in pure adulterated soluble coffee using an immunoaffinity column cleanup procedure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 : 3564-9.
- Romani S, Sachetti G, Chaves Lopez C, Pinnavaia GG, Dalla Rosa M, 2000. Screening on the occurrence of ochratoxin A in green coffee beans of different origins and types. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 : 3616-9.
- Samson RA, Hong SB, Frisvad JC, 2006. Old and new concepts of species differentiation in *Aspergillus*. *Medical Mycology* 44 : S133-48.
- Sivetz M, 1991. Growth in use of automated fluid bed roasting of coffee beans. Proceedings of the 14th ASIC Colloquium (San Francisco). Paris (France) : ASIC.
- Strezov V, Evans TJ, 2005. Thermal analysis of the reactions and kinetics of green coffee during roasting. *International Journal of Food Properties* 8 : 101-11.
- Skaug MA, 1999. Analysis of Norwegian milk and infant formulas for ochratoxin A. *Food Additives & Contaminants* 16 : 75-8.
- Studer-Rohr I, Dietrich DR, Schlatter J, Schlatter C, 1995. The occurrence of ochratoxin-A in coffee. *Food and Chemical Toxicology* 33 : 341-55.
- Suárez-Quiroz ML, González-Rios O, Barel M, Guyot B, Schorr-Galindo S, Guiraud JP, 2004a. Effect of chemical and environmental factors on *Aspergillus ochraceus* growth and toxigenesis in green coffee. *Food Microbiology* 21 : 629-34.
- Suárez-Quiroz ML, González-Rios O, Barel M, Guyot B, Schorr-Galindo S, Guiraud JP, 2004b. Study of ochratoxin A-producing strains in coffee processing. *International Journal of Food Science and Technology* 39 : 501-7.
- Suárez-Quiroz M, González-Rios O, Barel M, Guyot B, Schorr-Galindo S, Guiraud JP, 2005a. Effect of post-harvest processing procedure on OTA occurrence in artificially contaminated coffee. *International Journal of Food Microbiology* 103 : 339-45.
- Suárez-Quiroz M, De Louise B, González-Rios O, *et al.*, 2005b. The impact of roasting on the ochratoxin A content of coffee. *International Journal of Food Science and Technology* 40 : 605-11.
- Taniwaki MH, Pitt JI, Texeira AA, Iamanaka BT, 2003. The source of ochratoxin A in Brazilian coffee and its formation in relation to processing methods. *International Journal of Food Microbiology* 82 : 173-9.
- Thirumala-Devi K, Mayo MA, Reddy G, Emmanuel KE, Larondelle Y, Reddy DVR, 2001. Occurrence of ochratoxin A in black pepper, coriander, ginger and turmeric in India. *Food Additives & Contaminants* 18 : 830-5.
- Tsubouchi H, Yamamoto K, Hisada K, Sakabe Y, Udagawa S, 1987. Effects of roasting on ochratoxin A level in green coffee beans inoculated with *Aspergillus ochraceus*. *Mycopathologia* 97 : 111-5.
- Urbano GR, Taniwaki MH, Leitao MFDF, Vicentini MC, 2001. Occurrence of ochratoxin A producing fungi in raw Brazilian coffee. *Journal of Food Protection* 68 : 1226-30.
- van der Stegen GHD, Essens PJM, van der Lijn J, 2001. Effect of roasting conditions on reduction of ochratoxin A in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 : 4713-5.
- World Health Organization (WHO), 1996. *Evaluation of certain food additives and contaminants*. 44th Report of JECFA, WHO Technical Report series 859. Geneva : WHO.